

PVID ứng dụng công nghệ mới bọc cách nhiệt PU FOAM cho các dự án đường ống dẫn dầu trên thềm lục địa Việt Nam

TS. Chu Chất Chính, KS. Trần Đức Minh, ThS. Ngô Văn Dũng
Công ty cổ phần Đầu tư và Xây lắp khí

Tóm tắt

Đường ống dẫn dầu, khí trong Ngành Dầu khí là đường ống chuyên dụng. Loại đường ống này trong khai thác thường chịu áp suất cao, môi trường ăn mòn khắc nghiệt (cả bên trong và bên ngoài đường ống). Đặc biệt, đối với loại dầu khai thác ở các mỏ phía Nam thềm lục địa Việt Nam có nhiều parafin nên thường đông đặc ở nhiệt độ khá cao. Chính vì vậy đối với các đường ống dẫn dầu giữa các mỏ và từ các mỏ khai thác tới các giàn trung tâm hoặc tới các kho nổi chứa dầu phải bọc cách nhiệt (bảo ôn) cho đường ống nhằm đảm bảo giữ được nhiệt độ cho phép của dòng dầu khi vận chuyển qua đường ống không bị đông đặc. Nội dung của báo cáo khoa học này sẽ giới thiệu tóm lược tổng quan tình hình bọc ống cách nhiệt các dự án đường ống dẫn dầu tại Việt Nam và giới thiệu dây chuyền công nghệ bọc ống cách nhiệt cho đường ống dẫn dầu bằng vật liệu PU Foam tại Nhà máy bọc ống của Công ty cổ phần Đầu tư và Xây lắp khí (PVID) lần đầu tiên ứng dụng cho các dự án đường ống ngầm dẫn dầu tại thềm lục địa Việt Nam và khu vực, quốc tế trong tương lai.

I. Tổng quan tình hình bọc ống cách nhiệt các dự án đường ống dẫn dầu tại Việt Nam

Các dự án đường ống dẫn dầu được thi công bọc cách nhiệt những năm qua tại Việt Nam hầu hết là các dự án thuộc Liên doanh Việt - Nga (VSP). Dự án của VSP bọc cách nhiệt bằng Polyurethane (PU Foam) cho tuyến ống ngầm dẫn dầu D18 inch lần đầu tiên tại Việt Nam đó là tuyến ống ngầm BK4-RCTK3 năm 2000 do Viện Dầu khí Việt Nam thi công. Thiết kế của dự án này là của Viện Nghiên cứu Khoa học và Thiết kế (NIPI) thuộc VSP. Theo thiết kế của Viện NIPI, ống sau khi được làm sạch, sơn chống ăn mòn sẽ được bọc một lớp PU Foam với tỷ trọng 60kg/m³. Phía ngoài lớp PU Foam là ống thép (vừa làm lớp áo phục vụ phun PU Foam, vừa là vật liệu gia tải cho tuyến ống). Công nghệ này được gọi là công nghệ ống lồng ống (pipe in pipe). Công nghệ này cũng là công nghệ được nhiều nước trên thế giới đã sử dụng bọc cách nhiệt cho các đường ống ngầm dẫn dầu cho các vùng biển nước nông. Do có những hạn chế của công nghệ này, đặc biệt là mức độ đảm bảo an toàn trong thi công rải ống trên biển không cao vì vậy đây chưa phải là giải pháp lựa chọn phổ biến cho các dự án bọc cách nhiệt bảo ôn cho các dự án đường ống ngầm dẫn dầu thềm lục địa Việt Nam của VSP cũng như các chủ đầu tư khác của Petrovietnam.

Trên thực tế ngoài công nghệ bọc ống cách nhiệt PU Foam bằng phương pháp ống lồng ống cho tuyến ống ngầm BK4-RCTK3 năm 2000, VSP đã có những đề xuất, ứng dụng sáng tạo trong thiết kế bọc cách nhiệt đường ống ngầm dẫn dầu cho các dự án cụ thể của VSP (khi chưa có nhà máy bọc ống của PVID), đó là công nghệ bọc cách nhiệt cho các đường ống dẫn dầu bằng vật liệu composite cao su với tỷ trọng từ 700 - 1250kg/m³.

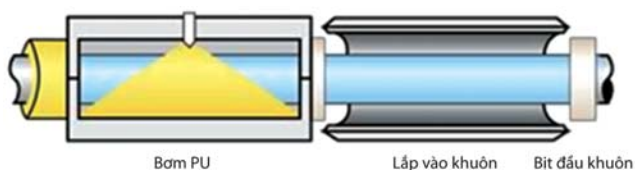
II. Giới thiệu công nghệ mới bọc ống cách nhiệt cho các dự án đường ống ngầm dẫn dầu lần đầu tiên thực hiện tại Việt Nam

1. Các giải pháp công nghệ bọc cách nhiệt trên thế giới. Chọn giải pháp công nghệ bọc cách nhiệt PU Foam cho nhà máy bọc ống của PVID

Trên cơ sở phương pháp và loại vật liệu dùng để bọc cách nhiệt, công nghệ bọc cách nhiệt trên thế giới được chia thành các nhóm sau:

1.1. Công nghệ bọc Syntactic PU hoặc Solid PU (công nghệ bọc SPU) [2]

Quy trình công nghệ của giải pháp này được thực hiện theo các bước sau: Các ống trần sẽ được sấy khô,



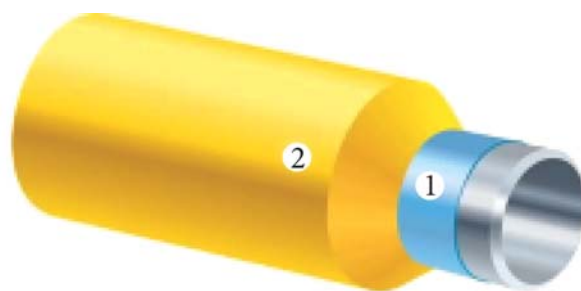
làm sạch và trải qua khâu kiểm tra bề mặt sau khi bọc chống ăn mòn và được gia nhiệt trước khi đưa vào khuôn để bơm vào lớp PU Foam. Sau khi lớp PU Foam đông cứng thì khuôn sẽ được tháo ra và tiến hành xử lý, cắt bỏ các phần PU Foam bị thừa. Từ đó, sản phẩm sẽ được bọc bê tông gia trọng trực tiếp lên lớp PU Foam cách nhiệt đã bọc.

Với công nghệ bọc SPU này thì sản phẩm ống sau khi bọc sẽ đạt được các tiêu chuẩn kỹ thuật như Bảng 1 [3, 5].

Cấu trúc của sản phẩm thực hiện theo công nghệ bọc SPU được thể hiện trên Hình 1.

1.2. Công nghệ bọc đa lớp Polypropylene (MLPP)

Đây là một trong những công nghệ bọc cách nhiệt tiên tiến trên thế giới. Với công nghệ này tuyến ống ngầm sẽ đạt được các yêu cầu khắt khe về nhiệt độ khi khai thác

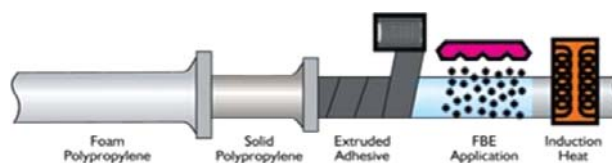


1. Lớp bọc chống ăn mòn (Fusion Bonded Epoxy)
2. Lớp bọc cách nhiệt (Syntactic Polyurethane)

Hình 1. Sản phẩm bọc SPU

(~140°C), lớp bọc cách nhiệt chịu được áp suất tại độ sâu gần 3000m, tuy nhiên giá thành rất cao.

Với công nghệ bọc đa lớp MLPP này thì sản phẩm ống sau khi bọc sẽ đạt được các tiêu chuẩn kỹ thuật như Bảng 2 [3].



Bảng 1. Các tiêu chuẩn kỹ thuật của sản phẩm ống sau khi bọc bằng công nghệ bọc SPU

Năng lực/Tính năng	Ứng dụng vùng nước nông	Ứng dụng vùng nước sâu
Đường kính nhỏ nhất	100mm (4")	100mm (4")
Đường kính lớn nhất	600mm (24")	600mm (24")
Nhiệt độ hoạt động nhỏ nhất	-55°C (-67°F)	-55°C (-67°F)
Nhiệt độ hoạt động cao nhất	115°C (240°F)	115°C (240°F)
Chiều dài ống tối đa	13m (43')	13m (43')
OHTC ("U" Value)	> 1,8W/m ² .K (0,317 BTU/hr.ft ² .F)	> 2,0W/m ² .K (0,352 BTU/hr.ft ² .F)
Độ sâu tối đa	300m (1000')	2800m (9200')
K-Value	0,1W/m.K (0,058 BTU/ft.hr.F)	0,155 - 0,17W/m.K (0,087 - 0,099 BTU/hr.ft.F)

Bảng 2. Các tiêu chuẩn kỹ thuật của sản phẩm ống sau khi bọc bằng công nghệ bọc đa lớp MLPP

Năng lực/Tính năng	Ứng dụng vùng nước nông	Ứng dụng vùng nước sâu
Đường kính nhỏ nhất	50mm (2")	50mm (2")
Đường kính lớn nhất	600mm (24")	600mm (24")
Nhiệt độ hoạt động nhỏ nhất	-35°C (-30°F)	-35°C (-30°F)
Nhiệt độ hoạt động cao nhất	155°C (310°F)	115°C (240°F)
Chiều dài ống tối đa	26m (85')	26m (85')
OHTC ("U" Value)	> 2,0W/m ² .K (0,352 BTU/hr.ft ² .F)	> 2,5W/m ² .K (0,44 BTU/hr.ft ² .F)
Độ sâu tối đa	700m (2297')	3000m (9842')
K-Value	0,125 - 0,185W/m.K (0,072 - 0,107 BTU/hr.ft.F)	0,165 - 0,185W/m.K (0,095 - 0,107 BTU/hr.ft.F)

Cấu trúc của sản phẩm thực hiện theo công nghệ bọc MLPP được thể hiện trên Hình 2.



1. Lớp bọc chống ăn mòn (Fusion Bonded Epoxy)
2. Lớp keo kết dính giữa lớp bọc chống ăn mòn và lớp bọc cách nhiệt (Adhesive)
3. Solid PP
4. Lớp bọc cách nhiệt (Foam PP)
5. Lớp bảo vệ bên ngoài (Outer Shield)

Hình 2. Sản phẩm bọc MLPP

1.3. Bọc Polyurethan Foam [4]

Polyurethan Foam được sử dụng cho bọc cách nhiệt các đường ống dẫn dầu có tỷ trọng thấp được hình thành bởi phản ứng của hai hợp chất chính là nhóm hydroxyl (OH) của một loại cồn (polyol) cùng với một hợp chất isocyanate. Do có những tính chất ưu việt về cách nhiệt, cơ học (Bảng 3) mà loại vật liệu này đã được lựa chọn cho mục đích bọc cách nhiệt trong đường ống ngầm dẫn dầu.

Bảng 3. Đặc tính của vật liệu Polyurethan

Mật độ	60 - 300kg/m ³
Giá trị lamda ban đầu	0,55W/m ² K (at 50°C)
Độ nén	5,0Mpa
Độ rã mong muốn	25%
Lỗ rỗng kín	> 88%
Độ trượt dọc trục	> 0,2 Mpa

Hiện nay trên thế giới đang sử dụng công nghệ bọc ống bằng vật liệu Polyurethan Foam (PU Foam) bằng ba phương pháp: phương pháp bọc ống đơn lẻ (single pipe),

Bảng 4. Các tiêu chuẩn kỹ thuật của sản phẩm ống sau khi bọc bằng phương pháp bọc ống lồng ống

Năng lực/tính năng	Nhiệt độ vùng nước nông	Nhiệt độ vùng nước sâu
Nhiệt độ hoạt động cao nhất	150°C (302°F)	115°C (240°F)
Độ trượt dọc trục	> 0,13 MPa	26m (85')
OHTC ("U" Value)	> 0,3 - 1,5W/m ² .K (0,05 - 0,26 Btu/hr.ft ² .F)	> 2,5W/m ² .K (0,44 BTU/hr.ft ² .F)
Tuổi thọ sản phẩm	Tối thiểu 30 năm/không bảo dưỡng	0,165 - 0,185W/m.K (0,095 - 0,107 BTU/hr.ft.F)

phương pháp bọc ống lồng ống (pipe-in-pipe) hoặc phương pháp bọc ống kiểu khuôn + áo (HDPE).

- Phương pháp bọc ống riêng lẻ (single pipe)

Các ống riêng lẻ được nối lại với nhau và đặt lên các giá đỡ có tác dụng làm cho các ống chuyển động xoay ốc đi vào khu vực bọc Foam. Lớp Foam từ các súng phun sẽ được phun trực tiếp vào các ống một cách liên tục. Tiếp theo đó là một lớp vỏ bọc thêm bên ngoài lớp Foam. Lớp vỏ này được tạo ra bằng cách một lớp màng chất dẻo được đùn ra từ các máy đùn sau đó quấn vào ống đang chuyển động xoay ốc. Với phương pháp này thì đường ống có khả năng ngăn ngừa hiện tượng hydrate và hình thành nên wax trong quá trình vận chuyển dầu. Bởi nhiệt độ hoạt động của hệ thống đường ống sẽ có thể được đảm bảo tới 110°C. Các ống được bọc cách nhiệt bằng phương pháp này còn tiết kiệm thời gian lúc thi công, lắp đặt ở ngoài khơi. Thời gian khai thác của hệ thống đường ống khi sử dụng phương pháp bọc cách nhiệt này có thể lên tới 30 năm. Tuy nhiên, giá thành thì chưa phải là tối ưu.

- Phương pháp bọc ống lồng ống (pipe-in-pipe)

Trước khi bọc Foam, ống dẫn dầu được đặt giữa ống khoắc ngoài với bộ phận đệm giữa hai lớp ống. Ống được cố định theo một vị trí và góc nghiêng hợp lý. Hợp chất Polyurethan (Polyol và isocyanate) được đưa vào khoảng không gian trống giữa lớp vỏ ngoài và ống dẫn dầu. Hỗn hợp pha trộn (PU Foam) được đổ đầy không gian giữa ống và lớp khuôn vỏ bọc ở ngoài.

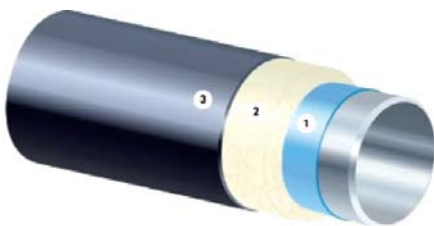
Với phương pháp bọc này, sản phẩm sau khi bọc sẽ thỏa mãn các tiêu chuẩn nghiêm ngặt về tính năng cách nhiệt. U-Value thấp (0,3 - 1,5W/m²K, nhiệt độ hoạt động lên tới 150°C và thời gian khai thác của tuyến ống có tuổi thọ cao).

Với phương pháp bọc ống lồng ống này thì sản phẩm ống sau khi bọc sẽ đạt được các tiêu chuẩn kỹ thuật như trong Bảng 4 [3].

Tuy nhiên do phương pháp bọc ống này sử dụng 2 ống trên mỗi đơn vị chiều dài của ống nên chi phí rất cao.

- Phương pháp bọc ống kiểu khuôn + áo (HDPE)

+ Quy trình thi công của phương pháp này được thực hiện như sau: Ống sau khi được làm sạch, phủ lớp chống ăn mòn (Corrosion Resistant Coating) sẽ được bọc lớp cách nhiệt PU Foam (quy trình công nghệ được trình bày cụ thể trong nội dung mục II. 2 của bài viết này). Sau khi bọc xong lớp PU Foam ống sẽ được bọc lớp vỏ bảo vệ bên ngoài (Outer Jacket - Protective Topcoat). Phương pháp này có nhiều ưu điểm trong thi công: thi công nhanh, chất lượng đảm bảo (dễ dàng kiểm soát chất lượng PU Foam trong các giai đoạn thi công) và giá thành hợp lý. Chính vì vậy PVID đã hợp tác với hãng LOGSTOR (Đan Mạch) triển khai thực hiện công nghệ bọc ống cách nhiệt theo phương pháp HDPE tại Nhà máy bọc ống của PVID (Phú Mỹ, huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu). Sản phẩm sau khi bọc Polyurethan xong thường có cấu trúc các lớp bọc như Hình 3.



1. Lớp bọc chống ăn mòn (Corrosion Resistant Coating)
2. Lớp bọc cách nhiệt (Thermal Insulation Layer)
3. Lớp vỏ bảo vệ bên ngoài (Outer Jacket - Protective Topcoat)

Hình 3. Sản phẩm bọc Polyurethan

2. Giới thiệu công nghệ mới bọc ống cách nhiệt cho các dự án đường ống dẫn dầu lần đầu tiên thực hiện tại Việt Nam

2.1. Giới thiệu quy trình công nghệ bọc cách nhiệt bằng phương pháp khuôn + áo (HDPE)

Đây là một công nghệ mới chuyên dụng để bọc cách nhiệt cho các đường ống dẫn dầu, khí bằng vật liệu PU Foam. Công nghệ bọc ống này đã được triển khai từ đầu năm 2010 tại nhà máy bọc ống PVID cho dự án Tê Giác Trắng (chủ đầu tư là Hoàng Long JOC, tổng thầu: PTSC-MC). Theo Dự án Tê Giác Trắng, ngoài việc bọc 3 lớp và bê tông gia tải, PVID còn thực hiện bọc bảo ôn cách nhiệt bằng vật liệu là PU Foam với tỷ trọng 250kg/m³, U-value 2,5 - 2,7W/m²k cho 7,7km loại 10 inch, 8km loại 16 inch. Tiếp theo Dự án Tê Giác Trắng PVID đã thực hiện cho dự án của VSP.

2.2. Các bước quy trình công nghệ được tiến hành thực hiện như sau:

Bước 1: Ống trần sau khi đã bọc chống ăn mòn FBE được đặt trong một khuôn có thiết kế đặc biệt (hai nửa).



Bước 2: Nắp khuôn được đóng lại để sẵn sàng đổ lớp Foam vào trong.



Bước 3: Foam được đổ đầy vào khoảng trống giữa khuôn và ống.



Bước 4: Sau khi lớp Foam đông cứng thì khuôn được tháo ra, tiến hành kiểm tra bề mặt và nếu cần thì sẽ sửa chữa những vị trí chưa đạt yêu cầu.



Bước 5: Lớp chống nước Waterstops (mastic) được bọc ở hai đầu của lớp Foam cách nhiệt vừa bọc

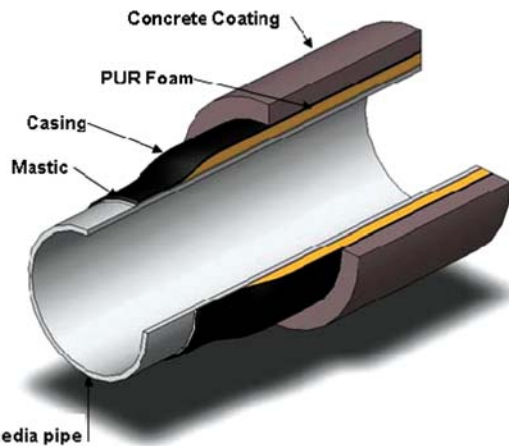


Bước 6: Lớp vỏ HDPE được bọc quanh lớp Foam



Bước 7: Sau khi hoàn thành công đoạn bọc lớp mastic thì xem như hoàn thành quá trình bọc cách nhiệt và ống có thể được bọc bê tông gia trọng.

Sản phẩm sau khi bọc cách nhiệt và bọc bê tông gia trọng sẽ có kết cấu:



2.3. Ứng dụng công nghệ mới bọc ống cách nhiệt bằng PU Foam cho dự án Tê Giác Trắng

Với công nghệ bọc cách nhiệt bằng phương pháp HDPE, PVID đã tiến hành bọc 1,3km ống đứng và gần 16km đường ống cho dự án Tê Giác Trắng. Với các yêu cầu về tiêu chuẩn kỹ thuật sau khi bọc cách nhiệt bằng PU Foam, hệ thống đường ống dẫn dầu phải có khả năng đảm bảo hoạt động với nhiệt độ lên tới 90°C trong môi trường nước biển, chiều sâu tối đa của đường ống ngầm là 43,6m và thời gian khai thác của hệ thống đường ống ngầm là 20 năm. Hệ thống cũng yêu cầu hệ số cách nhiệt phải đạt được giá trị U-value trong khoảng từ 2,8 W/m².K đến 4 W/m².K. Các thông số này áp dụng cho loại ống 10". Hệ thống phải đảm bảo tiêu chuẩn, chất lượng, bao gồm các khâu kiểm nghiệm, thử nghiệm (uốn, nén, trượt, mài mòn, va đập, đóng gói vận chuyển, thử kẹp cố định...).

Một số hình ảnh dây chuyền bọc PU Foam tại Nhà máy bọc ống PVID được thể hiện dưới đây:



Ảnh 1. Khuôn phục vụ phun PU Foam



Ảnh 2. Sản phẩm ống trần và sau khi bọc lớp PU Foam cách nhiệt



Ảnh 3. Các ống cách nhiệt sau đó được gia cố thêm lớp vỏ HDPE chống thấm nước



Ảnh 4. Sau các quá trình bọc chống ăn mòn và cách nhiệt, sản phẩm được bọc bê tông gia trọng



Ảnh 5. Bãi ống sản phẩm hoàn thiện chuẩn bị giao cho khách hàng



Ảnh 6. Sản phẩm trải qua các khâu thử nghiệm tại Mc Dermott, Indonesia



Ảnh 7. Sản phẩm được thử nghiệm kẹp ống trong quá trình rải ống tại Mc Dermott, Indonesia

III. Phân tích, đánh giá các ưu nhược điểm và hiệu quả kinh tế kỹ thuật của công nghệ mới bọc ống cách nhiệt bằng PU Foam.

1. Một số thông số kỹ thuật đạt được sau khi ứng dụng công nghệ bọc PU Foam cho các sản phẩm được thực hiện tại nhà máy bọc ống PVID

- Tỷ trọng của lớp bọc PU Foam: 120 - 300kg/m³.
- Lớp vỏ bọc (áo) bên ngoài lớp PU Foam là HDPE hoặc PP.
- Ở hai đầu của mỗi ống đều có vòng đệm ngăn nước tràn và thấm vào lớp PU Foam.
- Vật liệu cách nhiệt - lớp vỏ + vòng đệm ngăn nước hình thành nên một lớp bảo vệ ngăn cách 100% nước từ ngoài ngấm vào lớp cách nhiệt.
- Giá trị U Value từ 1,0 - 5,0W/m²K.

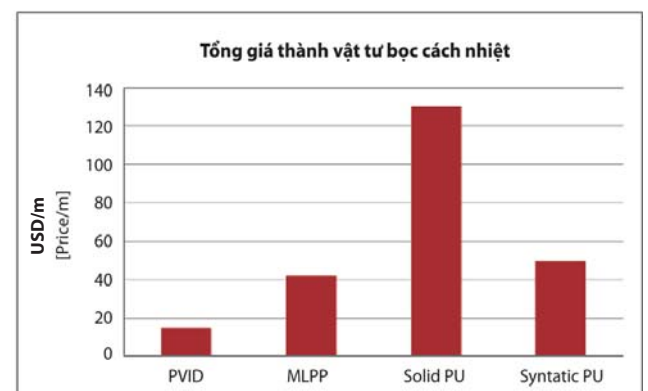
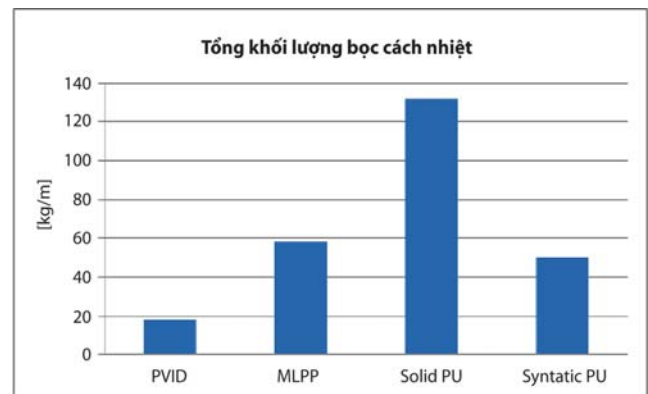
- Độ sâu hoạt động lớn nhất: 300m
- Nhiệt độ hoạt động lớn nhất +120°C.

2. Một số kết quả chính của sản phẩm đạt được

- Ngăn ngừa hiện tượng hydrate và wax formation.
- Nhiệt độ hoạt động đạt được + 120°C (248°F).
- Sản phẩm có thể thỏa mãn theo yêu cầu thiết kế đặc biệt cho từng dự án.
- Lắp đặt nhanh.
- Hệ thống đã được chứng minh và đạt độ an toàn cao.
- Theo tính toán thời gian khai thác của hệ thống đạt tới 30 năm.

3. So sánh khái quát về giá thành thi công bọc ống

Hiện tại có nhiều phương pháp bọc cách nhiệt, song khi so sánh các yếu tố liên quan đến giá thành, khối lượng vật tư sử dụng cho mỗi mét bọc của các phương pháp thì ta sẽ thấy phương pháp bọc cách nhiệt mới được áp dụng tại PVID có một ưu thế nổi bật để áp dụng tại các vùng nước nông (Biểu đồ so sánh giá thành vật tư giữa các phương pháp bọc cách nhiệt).



	k-value		Mật độ		Nhiệt độ cao nhất	Độ sâu tối đa	Chỉ số giá vật liệu thô
	[W/mK]		[Kg/m ³]		[°C]	[meter]	[price/kg]
	min	max	min	max		max	
PU Foam	0,033	0,075	120	300	120	300	100
PP Foam (MLPP)	0,140	0,160	640	800	110	500-3000	72
Solid PU	0,190	0,200	1100	1200	90-125	3000	100
Syntatic PU	0,120	0,170	700	850	80-125	3000	100

IV. Kết luận

Công nghệ bọc ống cách nhiệt PU Foam cho các đường ống ngầm dẫn dầu khí bằng phương pháp khuôn + áo (HDPE) tại Nhà máy bọc ống của PVID là một công nghệ mới lần đầu tiên ứng dụng tại Việt Nam. Đây là công nghệ tiên tiến, hiện đại, có nhiều tính ưu việt và phù hợp với điều kiện Việt Nam. Công nghệ này đã được nhiều nước có nền công nghiệp dầu khí phát triển trên thế giới lựa chọn để sử dụng, như: Mỹ, Anh, Đan Mạch, Thụy Điển...

1. Công nghệ bọc ống PU Foam “khuôn + áo (HDPE)” tại Nhà máy bọc ống của PVID đã phát huy hiệu quả ngay sau khi lắp đặt, được thể hiện qua kết quả bọc ống cho Dự án Tê Giác Trắng (năm 2010) và sau đó là dự án của Vietsovpetro. Sản phẩm của hai dự án trên đều đảm bảo chất lượng tốt, tiến độ đúng và trước thời hạn, thi công an toàn, thỏa mãn các yêu cầu về kỹ thuật và công nghệ của chủ đầu tư, mang lại hiệu quả kinh tế cho PVID.

2. PVID tin tưởng, khẳng định khả năng bọc ống cách nhiệt PU Foam cho các đường ống ngầm dẫn dầu khí bằng phương pháp khuôn + áo (HDPE) cho các dự án tương tự như Dự án Tê Giác Trắng và Dự án của VSP, cũng như các dự án mới của các nhà thầu trong và ngoài nước với qui mô lớn hơn, khó hơn, đặc biệt hơn, như: đường kính ống lớn hơn, đảm bảo độ cách nhiệt cao hơn, vùng nước sâu hơn... với tiến độ thi công nhanh, giá cả cạnh tranh.

Tài liệu tham khảo

1. Marc Broekaert, 2003. *Polyurea spray applied systems for concrete protection*. website.www.huntsman.com.
2. Shiwei William Guan, 2003. *100% solids rigid polyurethane coatings technology and its application on pipeline corrosion protection*. ASCE pipelines conference.
3. Wayne Hodgins and Robert Buchanan, 2006. *High temperature pipeline coatings - field joint challenges in remote construction*. Technical paper of Canusa-CPS Canada.
4. M. Batallas, H. Yih and P. Singh, 2006. *Determining the performance of polyurethane foam pipe insulation for high temperature service*. Northern area Western conference Calgary Alberta.
5. Adam Jackson, Erik Johnsen, Adam Kopystynski, Eirik Simonsen and Allan Boye-Hansen, 2005. *Design parameter for single pipe thermal insulation systems for offshore flow assurance*. Rio pipeline conference & exposition.
6. Allan Boye Hansen and Augustin Delesalle, 2000. *Cost-effective thermal insulation systems for deepwater West Africa in combination with direct heating*. Offshore West Africa 2000 conference and exhibition.